

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-356984

(43)Date of publication of application : 10.12.1992

(51)Int.Cl.

H01S 3/131
G02B 6/00
G02F 1/35
H01S 3/07
H01S 3/0915

(21)Application number : 03-131326

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 03.06.1991

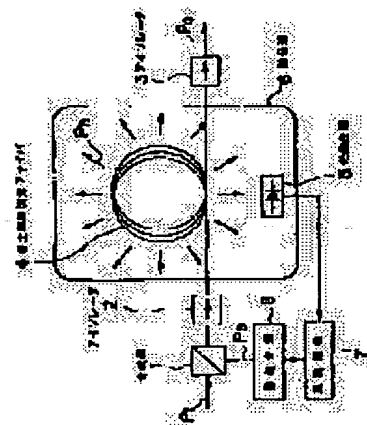
(72)Inventor : AIDA KAZUO
MASUDA KOJI
NAKAGAWA SEIJI

(54) OPTICAL AMPLIFIER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an optical amplifier which can maintain a gain constant with a simple configuration without detecting an input light or an output light.

CONSTITUTION: A rare earth element-added optical fiber 4 in which an input light P_i and an exciting light P_e from an exciting light source 8 are input, is mounted together with a photodetector 5 in an integrating sphere 6, an integrated value of a spontaneously emitted light P_n emitted from the side of the fiber 4 is detected, and the light source 8 is so controlled by a driving circuit 7 that the detected value becomes constant, thereby maintaining a gain constant.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(51)Int.Cl. ³	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/131		7630-4M		
G 0 2 B 6/00				
G 0 2 F 1/35	5 0 1	7246-2K	G 0 2 B 6/ 00	E
		9017-2K	H 0 1 S 3/ 091	J
		7630-4M		
審査請求 未請求 請求項の数19(全 17 頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号 特願平3-131326

(22)出願日 平成3年(1991)6月3日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 相田 一夫

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 増田 浩次

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 中川 清司

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

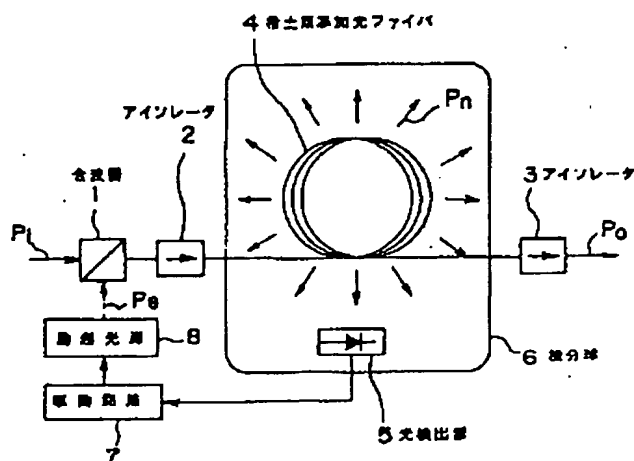
(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

(54)【発明の名称】 光増幅器

(57)【要約】

【目的】 入力光や出力光を検出することなく、簡単な構成で利得を一定に保持し得る光増幅器を提供する。

【構成】 入力光 P_i 及び励起光源8からの励起光 P_e が入力される希土類添加光ファイバ4を光検出器5とともに積分球6の中に設置し、該希土類添加光ファイバ4の側面から放出された自然放出光 P_n の積分値を検出し、該検出値が一定になるように励起光源8を駆動回路7で制御することにより、利得を一定に保持する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光励起による希土類添加光ファイバ増幅器において、希土類添加光ファイバと少なくとも1個の光検出器を積分球の中に設置し、該希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光の積分値を検出し、該検出値が一定になるように少なくとも1個の励起光源を制御するようになしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 光励起による希土類添加光ファイバ増幅器において、コイル状に巻いた希土類添加光ファイバの側面に少なくとも1個の光検出器を設置し、該希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を検出し、該検出値が一定となるように少なくとも1個の励起光源を制御するようになしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項3】 光励起による希土類添加光ファイバ増幅器において、複数の光検出器を希土類添加光ファイバの異なる位置の側面にそれぞれ設置してその自然放出光を検出し、該複数の検出値に所定の演算を加え、その結果が一定になるように少なくとも1個の励起光源を制御するようになしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項4】 希土類添加光ファイバと光検出器との間に信号帯域の近傍のみを通過させる光帯域通過フィルタを設置したことを特徴とする請求項1乃至3いずれか記載の光増幅器。

【請求項5】 希土類添加光ファイバを挟んで光検出器と対向する位置にミラーを設置したことを特徴とする請求項2乃至4いずれか記載の光増幅器。

【請求項6】 光検出器を中心とする所定の円周上に希土類添加光ファイバを配置したことを特徴とする請求項2記載の光増幅器。

【請求項7】 光検出器の前面に検出感度の入射角度依存性を補正する空間フィルタを設置したことを特徴とする請求項2乃至6いずれか記載の光増幅器。

【請求項8】 請求項1乃至7いずれか記載の光増幅器を2台直列に接続し、前段の光増幅器を高利得に設定し、後段の光増幅器を損失を含めて低利得に設定したことを特徴とする光増幅器。

【請求項9】 光増幅器の出力信号電力を検出し、これを信号の統計的性質に基づく時定数 τ （積分値の時間変動がなくなる時間）よりも長い時間で積分し、この積分値に基いて光増幅器の基準増幅率を制御し、平均出力信号電力が一定となるようにしたことを特徴とする請求項1乃至8いずれか記載の光増幅器。

【請求項10】 励起光源の制御系から励起光電力の動作情報を抽出し、これと光増幅器の基準利得との関係から出力信号電力を算出し、これを信号の統計的性質に基づく時定数 τ （積分値の時間変動がなくなる時間）よりも長い時間で積分して平均出力信号電力を算出し、該平均出力信号電力と基準とする出力信号電力とを比較し、光増幅器の基準増幅率を制御して平均出力信号電力が一

定となるようにしたことを特徴とする請求項1乃至8いずれか記載の光増幅器。

【請求項11】 増幅率と該増幅率が規定される波長情報とをスイッチ又は電圧等により外部から入力し、制御可能領域を越えた場合は警報を発生するようになしたことを特徴とする請求項1乃至10いずれか記載の光増幅器。

【請求項12】 電流励起の半導体光増幅器において、半導体光増幅素子の側面に少なくとも1個の光検出器を設置し、該半導体光増幅素子の側面から放出された自然放出光を検出し、該検出値が一定となるように励起電流を制御するようになしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項13】 希土類添加光ファイバ又は半導体光増幅素子の近傍に温度センサを設置し、その動作温度を検出して自然放出光の温度特性及び希土類添加光ファイバの損失の信号光波長における温度特性又は半導体光増幅素子の活性層の信号光波長における温度特性を補正し、利得温度特性を低減するようになしたことを特徴とする請求項1乃至12いずれか記載の光増幅器。

【請求項14】 光励起による希土類添加光ファイバ増幅器において、希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を複数の光検出器により検出し、これらの検出値に基いて少なくとも1個の励起光源の制御を行う複数の利得制御回路を設け、各利得制御回路の基準利得を少しずつ異なる値に設定したことを特徴とする光増幅器。

【請求項15】 光励起による希土類添加光ファイバ増幅器において、希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を複数の光検出器により検出し、これらの検出値に基いて少なくとも1個の励起光源の制御を行う複数の利得制御回路と、これらの複数の利得制御回路の動作を監視する監視制御装置とを設け、各利得制御回路の基準利得の設定及び動作のオン・オフ設定を可能となしたことを特徴とする光増幅器。

【請求項16】 希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を少なくとも1個の光検出器で検出し、これに基いて複数の励起光源を制御する光増幅器において、利得制御回路から個々の励起光源を見た時、その特性が全て同じになるように励起光源の特性の差を吸収する回路を組込んだ駆動回路と、励起光源とを一体化した励起モジュールを利得制御回路の出力に複数、並列に接続したことを特徴とする光増幅器。

【請求項17】 各励起モジュールの動作のオン・オフを制御する制御装置が設けられ、各励起モジュールには利得制御回路の制御帯域よりも狭い低域通過フィルタが設けられ、該励起モジュールをオフからオンに設定した場合、初期の状態は制御ループ内に低域通過フィルタが挿入され、一定時間経過後には低域通過フィルタが回路から切り離される構成となしたことを特徴とする請求項16記載の光増幅器。

3

【請求項18】 光増幅器を2台直列に接続し、そのいずれかの光増幅器において基準とする増幅率が達成できなくなった場合、全体としての利得が一定となるように2台の光増幅器の利得配分を変更する監視制御装置を設けたことを特徴とする光増幅器。

【請求項19】 請求項14乃至17いずれか記載の光増幅器を2台直列に接続し、そのいずれかの光増幅器において基準とする増幅率が達成できなくなった場合、全体としての利得が一定となるように2台の光増幅器の利得配分を変更する監視制御装置を設けたことを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光伝送方式や光信号処理において使用される光増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来より、入力された光信号を光のまま増幅して出力の大きい光信号を得るために使われる光増幅器としては、半導体レーザ増幅器、希土類添加光ファイバ増幅器等がある。これらの光増幅器は、全て入力される光信号の電力の増加に対して利得が減少するので、動作入力レベルを高くしようとすると、入出力の比例関係が保たれない。このため、光増幅器への入力光信号と出力光信号とを検出して、半導体レーザ増幅器では駆動電流に、また、希土類添加光ファイバ増幅器では励起光源に帰還をかけて利得が一定になるような制御系が検討されていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記従来の光増幅器では、(1)入力部及び出力部に設ける光分岐回路により光信号の一部が失われる、(2)光分岐用部品との接続点が増加する、(3)光分岐用部品には過剰損失がある等の理由により、出力レベルの低下やS/N比の劣化が避けられず、また、光学系及び制御系の回路が複雑になるという問題があった。また、入力光と出力光との比較を行うので、光信号がない時は制御できないという問題があった。即ち、入力光信号には情報が重畳されているので、強度変調方式では信号が零になる時が必ずあり、制御系の時定数を入力光信号の統計的性質を考慮して慎重に設定しなければならないという問題があった。さらにまた、出力光には増幅された自然放出光が含まれるので利得が大きい増幅器では制御誤差が増加するという問題があった。

【0004】 本発明では前記従来の問題点に鑑み、入力光や出力光を検出することなく、簡単な構成で利得を一定に保持し得る光増幅器を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 図1は本発明の請求項1対応の光増幅器を示すもので、図中、1は合波器、2、3はアイソレータ、4は希土類添加光ファイバ、5は光

4

検出器、6は積分球、7は駆動回路、8は励起光源である。エルビウム等の希土類を添加した希土類添加光ファイバ4は光検出器5とともに周知の積分球6の中に設置される。該希土類添加光ファイバ4の一端には合波器1及びアイソレータ2が接続され、入力光Piが励起光源8からの励起光Peとともに入力され、また、他端にはアイソレータ3が接続され、出力光Poが取出される。この際、希土類添加光ファイバ4の側面から放出される自然放出光Pnの積分値を光検出器5で検出し、この検出値が一定になるように励起光源8を駆動回路7で制御する構成としている。

【0006】 図2は本発明の請求項2対応の光増幅器を示すもので、希土類添加光ファイバ4をコイル状に巻き、その側面に光検出器5を設置して、該希土類添加光ファイバ4の側面から放出される自然放出光を検出し、この検出値Soが一定となるように励起光源(図示せず)を制御する構成としている。

【0007】 図3は本発明の請求項3対応の光増幅器を示すもので、希土類添加光ファイバ4の異なる位置の側面に複数の光検出器5a、5b、5cをそれぞれ設置して、該希土類添加光ファイバ4の側面から放出される自然放出光の距離分布特性を検出し、これらの検出値に演算回路9にて所定の演算を加え、その結果Soが一定となるように励起光源(図示せず)を制御する構成としている。

【0008】 図4は本発明の請求項4対応の光増幅器を示すもので、希土類添加光ファイバ4と光検出器5との間に信号帯域の近傍のみを通過させる光帯域通過フィルタ10を設置する構成としている。

【0009】 図5は本発明の請求項5対応の光増幅器を示すもので、希土類添加光ファイバ4を挟んで光検出器5と対向する位置にミラー11を設置する構成としている。

【0010】 図6は本発明の請求項6対応の光増幅器を示すもので、光検出器5を中心とする所定の円周12上に希土類添加光ファイバ4を配置する構成としている。

【0011】 図7は本発明の請求項7対応の光増幅器を示すもので、光検出器5の前面に検出感度の入射角度依存性を補正する空間フィルタ13を設置する構成としている。

【0012】 図8は本発明の請求項8対応の光増幅器を示すもので、2つの光増幅器14及び15を直列に接続し、制御装置16により、入力光Piが入力される前段の光増幅器14を高利得に設定し、出力光Poを出力する後段の光増幅器15を損失を含めて低利得に設定する構成としている。

【0013】 図9は本発明の請求項9対応の光増幅器を示すもので、アイソレータ3より取出される光増幅器の出力光Poを分配器17を介して光検出器18に導き、その出力信号電力を検出し、これを積分器19により信

5

号の統計的性質に基く時定数 τ 、(積分値の時間変動がなくなる時間)よりも長い時間で積分し、この積分値と出力信号レベルの基準値 S_r とを比較器20で比較し、その結果に従って平均出力信号電力が一定となるように励起光源8を駆動回路7で制御する構成としている。

【0014】図10は本発明の請求項10対応の光増幅器を示すもので、駆動回路7から励起光電力の動作情報を抽出し、これと光増幅器の基準利得との関係から演算回路9により出力信号レベルを算出し、これを積分器19により信号の統計的性質に基く時定数 τ 、(積分値の時間変動がなくなる時間)よりも長い時間で積分して平均出力信号電力を算出し、該平均出力信号電力と出力信号レベルの基準値 S_r とを比較器20で比較し、その結果に従って平均出力信号電力が一定となるように励起光源8を駆動回路7で制御する構成としている。

【0015】図11は本発明の請求項11対応の光増幅器を示すもので、制御装置16により、外部から入力した増幅率 G_r 及び該増幅率 G_r が規定される波長情報 λ_r と自然放出光の積分値を増幅率に換算した値とを比較し、その結果に従って励起光源8を駆動回路7で制御し、さらに該励起光源8への制御量(駆動電流)が動作限界を越える場合には警報 S_{al} を発生する構成としている。

【0016】図12は本発明の請求項12対応の光増幅器を示すもので、活性層21a及び電極21b、21cを備えた電流励起の半導体光増幅素子21の側面に光検出器5を設置し、該半導体光増幅素子21の側面から放出された自然放出光 P_n を検出し、この検出値と基準値 S_r とを比較器20で比較し、該検出値が一定となるように駆動回路7で制御する構成としている。

【0017】図13は本発明の請求項13対応の光増幅器を示すもので、希土類添加光ファイバ4の近傍に温度センサ22を設置し、その動作温度を検出し、温度特性補正回路23により光検出器5で検出された自然放出光 P_n の温度特性、希土類添加光ファイバ4の信号光波長における損失の温度特性を補正し、該補正後の検出値から利得計算回路24により利得を算出し、これを基準値 S_r と比較器20で比較し、該利得が一定となるように励起光源8を駆動回路7で制御する構成としている。

【0018】図14は本発明の請求項14対応の光増幅器を示すもので、積分球6の中に光検出器5とともに光検出器25を設置し、また、希土類添加光ファイバ4の他端とアイソレータ3との間に合波器26を挿入する。光検出器5による希土類添加光ファイバ4の側面からの*

6

*自然放出光 P_n の検出値を比較器20にて基準値 S_{r1} と比較し、この結果に従って励起光源8の励起光 P_{e1} を駆動回路7で制御するとともに、光検出器25による検出値を比較器29にて基準値 S_{r2} と比較し、この結果に従って励起光源28の励起光 P_{e2} を駆動回路27で制御する構成としている。

【0019】図15は本発明の請求項15対応の光増幅器を示すもので、監視制御装置30により、駆動回路7、27及び比較器20、29の動作を監視し、また、各比較器20、29への基準利得の設定及びその動作のオン・オフ設定を制御する構成としている。

【0020】図16は本発明の請求項16対応の光増幅器を示すもので、比較器20から個々の励起光源を見た時の特性が全て同じになるように励起光源の特性の差を吸収する回路を組込んだ駆動回路31a及び励起光源31bを一体化した励起モジュール31と、同様な駆動回路32a及び励起光源32bを一体化した励起モジュール32とを比較器20に並列に接続する構成としている。

【0021】図17は本発明の請求項17対応の光増幅器を示すもので、比較器20から個々の励起光源を見た時の特性が全て同じになるように励起光源の特性の差を吸収する回路を組込んだ駆動回路33a、励起光源33b、比較器20の制御帯域よりも狭い低域通過フィルタ33c及びそのバイパススイッチ33dを一体化した励起モジュール33と、同様な駆動回路34a、励起光源34b、低域通過フィルタ34c及びバイパススイッチ34dを一体化した励起モジュール34とを比較器20に並列に接続するとともに、制御装置35により、各励起モジュール33及び34をオフからオン状態に設定した当初はバイパススイッチをオフとして制御ループ内に低域通過フィルタを挿入し、一定時間経過した後はバイパススイッチをオンとして低域通過フィルタを切離す構成としている。

【0022】図18は本発明の請求項18及び19対応の光増幅器を示すもので、2つの光増幅器36及び37を直列に接続し、監視制御装置38により、そのいずれかの光増幅器において基準とする増幅率が達成できなかった場合、全体としての利得が一定となるように各光増幅器36、37の利得配分を変更する構成としている。

【0023】

【作用】希土類添加光ファイバ増幅器の利得 G は、

$$G = \exp \left\{ \int_0^L \gamma(z) dz \right\} \quad \dots\dots(1)$$

と表される。ここで、 $\gamma(z)$ は希土類添加光ファイバ4の局所利得、 L は希土類添加光ファイバ4の長さであり、該希土類添加光ファイバ4の局所利得 $\gamma(z)$ はフ

ィバ上の位置、励起光強度、信号光強度の関数となっている。

【0024】前記局所利得 $\gamma(z)$ はファイバの側面から

7

の自然放出光 $P_n(z)$ 、その他の定数を用いて

$$\gamma(z) = C \cdot P_n(z) - \alpha, \quad \dots\dots(2)$$

但し、

$$C = \{ \eta \{ \sigma_{a,1}(\lambda_1) + \sigma_{a,2}(\lambda_2) \} \pi / (h \cdot \nu_0 \cdot \pi \cdot r_{e,1}^2) \}$$

$$\alpha_1 = \eta \cdot \sigma_{a,1}(\lambda_1) \cdot \rho$$

$\sigma_{a,1}(\lambda_1)$: 信号波長における吸収断面積

$\sigma_{e,1}(\lambda_1)$: 信号波長における誘導放出断面積

η : オーバーラップファクタ

τ : 自然放出光寿命

ρ : エルビウム (Er) のドーブ量

* h : プランク定数

ν_0 : 自然放出光の平均周波数

$r_{e,1}$: Er がドーブされた領域の直径

と記述することができる。ここで、 α_1 (微弱信号光に対する希土類添加ファイバの吸収損失) 及び C はファイバ上の位置、励起光強度、信号光強度に依存しない定数となっている。

10 【0025】前記式(1) 及び式(2) から、利得 G は

*

$$G = \exp \left(C \int_0^L P_n(z) dz - \alpha_1 \cdot L \right) \quad \dots\dots(3)$$

と表される。即ち、希土類添加光ファイバの側面からの自然放出光 $P_n(z)$ をファイバ長に亘って積分した値を一定値に制御すると、 C 、 $\alpha_1 \cdot L$ は定数なので利得 G を一定値にすることができる。

【0026】次に、本発明の光増幅器の作用を各図について説明する。

【0027】図1の光増幅器によれば、希土類添加光ファイバ4と光検出器5を積分球6の中に設置し、該希土類添加光ファイバ4の側面から放出された自然放出光の積分値を検出し、この検出値が一定となるように励起光源8を駆動回路7で制御する構成としたので、利得 G を一定値にすることができる。また、この際、複数の光検出器を使用すれば、自然放出光の積分値の検出精度を向上させることができる。また、複数の励起光源を使用すれば、一部の励起光源が故障しても残りの励起光源により利得 G を一定値に制御することができ、信号が瞬間的にも途絶するようなことがなくなり、信頼性を大きく向上させることができる。

【0028】また、図2の光増幅器によれば、希土類添加光ファイバ4をコイル状 (例えば直径 R) に巻き、その側面に光検出器5を設置したので、一個の光検出器で希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を $\pi \cdot R$ の間隔でサンプリングしてその合計値を検出で※

$$NF = \{ 2 / (1 + \sigma_a' / \sigma_e') \} \cdot \left\{ \left[\alpha_1 G(L) / (G(L) - 1) \right] \cdot \int_0^L (1/G(z)) dz + 1 \right\} \quad \dots\dots(4)$$

但し、

σ_a' : 信号波長における吸収断面積

σ_e' : 信号波長における誘導放出断面積

と表される。

【0030】なお、励起方法として両方向励起を用い、それぞれの励起光源を式(3) 及び式(4) に基いて制御することにより、片方向励起 (前方向あるいは後方向励起) の場合よりも精度良く、しかも入力信号レベルの変動に対して雑音指数 NF の変化を最小にして利得を一定

※きる。ここで、この合計値はファイバの側面からの自然放出光の積分値の近似値であり、また、この検出値 S_0 が一定となるように励起光源を制御する構成としたので、利得 G を一定値にすることができる。また、この際、複数の光検出器を使用すれば、自然放出光の積分値の検出精度を向上させることができる。また、複数の励起光源を使用すれば、一部の励起光源が故障しても残りの励起光源により利得 G を一定値に制御することができ、信号が瞬間的にも途絶するようなことがなくなり、信頼性を大きく向上させることができる。

20

30

【0029】また、図3の光増幅器によれば、希土類添加光ファイバ4の異なる位置の側面に複数の光検出器5a、5b、5cを設置してその自然放出光を検出し、数値積分の理論に基いてこれらの検出値に重み係数を乗じて合計することにより、ファイバの側面からの自然放出光の積分値の近似値を求めることができ、この値 S_0 が一定となるように励起光源を制御する構成としたので、利得 G を一定値にすることができる。また、本光増幅器においてはファイバの長さ方向の局所利得分布を測定しているため、利得の長さ特性 $G(z)$ を知ることができ、さらに増幅器の特性として、利得とともに重要とされる雑音指数 NF も知ることができる。即ち、雑音指数 NF は

値に制御することが可能となる。また、図1、図2の光増幅器と同様、複数の励起光源を使用すれば、一部の励起光源が故障しても残りの励起光源により利得 G を一定値に制御することができ、信号が瞬間的にも途絶するようなことがなくなり、信頼性を大きく向上させることができる。

【0031】また、図4の光増幅器によれば、希土類添加光ファイバ4と光検出器5との間に信号帯域の近傍のみを通過させる光帯域通過フィルタ10を設置する構成

50

としたので、使用波長以外の光を取除くことができ、利得を精度良く制御できる。

【0032】また、図5の光増幅器によれば、希土類添加光ファイバ4を挟んで光検出器5と対向する位置にミラー11を設置する構成としたので、光検出器5に入射する自然放出光を増加させることができ、制御系のSN比を向上させることができる。

【0033】また、図6の光増幅器によれば、光検出器5を中心とする所定の円周12上に希土類添加光ファイバ4を配置する構成としたので、各ファイバからの自然放出光を均等に検出でき、自然放出光の積分値の検出精度を向上させることができる。

【0034】また、図7の光増幅器によれば、光検出器5の前面に検出感度の入射角度依存性を補正する空間フィルタ13を設置する構成としたので、各ファイバからの自然放出光を均等に検出でき、自然放出光の積分値の検出精度を向上させることができる。

【0035】また、図8の光増幅器によれば、2つの光増幅器14及び15を直列に接続し、制御装置16により、入力光が入力される前段の光増幅器14を高利得に設定し、出力光を出力する後段の光増幅器15を損失を含めて低利得に設定する構成としたので、前段の光増幅器の利得を小さくした場合のように増幅器全体の雑音指数NFを劣化させることなく、後段の増幅器の利得を制御することにより、増幅器全体の利得を大きく変化させることが可能となる。

【0036】次に、図9の光増幅器の作用を説明する。まず、本光増幅器の背景について説明する。光中継伝送方式に用いられる光増幅器の入力信号電力は、光ファイバ伝送路における損失の変動（温度特性、経年変化特性）に伴って変化する。ここで、ファイバ損失が小さくなると入力信号電力が増加するが、この際、該光増幅器の利得が一定であると、その出力信号電力は光ファイバの入力限界（非線形効果等による）を越えてしまう恐れがある。また、ファイバ損失が大きくなると入力信号電力が低下するが、この際、該光増幅器の利得が一定であると、その出力信号電力も減少するので、伝送系のSN比が劣化する恐れがある。このため、光増幅器の出力信号電力は基準値（一定値）にしなければならない。

【0037】前記要求を満たすものとしてリミッタ増幅器が考えられるが、入出力の線形性が保たれなくなるので、光強度変調方式を用いた場合、アナログ伝送系では歪率の増加を招き、また、ディジタル伝送系では誤り率の劣化を招くという問題があった。また、光中継伝送方式ではその構成上、光増幅器の出力信号電力として+10dBm程度の高出力を要求しているが、この値は光増幅器の飽和領域に入っており、利得一定制御を行わないと伝送特性の劣化を招くという問題があった。即ち、光中継伝送方式に用いられる光増幅器においては、この一見矛盾した2つの課題（出力一定、利得一定）を同時に

解決する必要がある。

【0038】図9の光増幅器によれば、アイソレータ3より取出される光増幅器の出力光Poを分配器17を介して光検出器18に導き、その出力信号電力を検出し、これを積分器19により信号の統計的性質に基づく時定数 τ （積分値の時間変動がなくなる時間）よりも長い時間で積分し、この積分値と出力信号レベルの基準値Srとを比較器20で比較し、光増幅器の基準増幅率を制御して平均出力信号電力が一定となるように制御している。さらに、光増幅器は基準増幅率と積分された自然放出光に基づいて励起光源を希土類添加光ファイバの自然放出光寿命 τ よりも充分短い時間で制御しているので、増幅率は基準増幅率に一致している。この結果、増幅器の入出力の線形性が保たれるので、伝送特性の劣化を招かない。また、出力レベルも一定（時定数 τ 以上の平均）に保たれるので、光ファイバの入力限界による伝送特性の劣化やSN比の劣化を避けることができる。

【0039】また、図10の光増幅器によれば、駆動回路7から励起光電力の動作情報を抽出し、これと光増幅器の基準利得との関係から演算回路9により出力信号レベルを算出する。図19は利得を20dBで一定に制御した場合における出力信号レベルと励起光電力との関係の一例を示すもので、出力信号レベルが0dBmを越えた領域では励起光電力を規定すると信号出力レベルが一意的に決定されることがわかる。このようにして得られた出力信号電力を積分器19により信号の統計的性質に基づく時定数 τ （積分値の時間変動がなくなる時間）よりも長い時間で積分して平均出力信号電力を算出し、該平均出力信号電力と出力信号レベルの基準値Srとを比較器20で比較し、光増幅器の基準増幅率を制御して平均出力信号電力が一定となるように制御している。さらに、光増幅器は基準増幅率と積分された自然放出光に基づいて励起光源を希土類添加光ファイバの自然放出光寿命 τ よりも充分短い時間で制御しているので、増幅率は基準増幅率に一致している。この結果、増幅器の入出力の線形性が保たれるので、伝送特性の劣化を招かない。また、出力レベルも一定（時定数 τ 以上の平均）に保たれるので、光ファイバの入力限界による伝送特性の劣化やSN比の劣化を避けることができる。また、本光増幅器ではその出力端に分配器（分岐器）を設けて出力信号の一部を取出して出力信号電力を検出する必要がないので、構成が簡単になるとともに分岐による損失がなく、より高出力化が可能となる。

【0040】また、図11の光増幅器によれば、外部から増幅率Gr及び該増幅率Grが規定される波長情報入rとを制御装置16に入力する。制御装置16においては前記式(3)により増幅率に対応する自然放出光の積分値を計算し、駆動回路7へ自然放出光の基準値を送出する。駆動回路7では基準値と検出された自然放出光の積分値とを比較して励起光源8を制御する。さらに、駆動

11

回路7からは励起光源8の駆動電流に対する情報を制御装置16に送出する構成としている。この結果、制御装置16では設定された増幅率や入力信号レベルが大きすぎて励起光源8への制御量(駆動電流)が動作限界を越える場合に警報 S_{11} を発生することが可能となる。従って、光増幅器が正常に動作しているか否かを把握することができる。

【0041】次に、図12の光増幅器の作用を説明す*

$$G = \exp \left(C \int_0^L P_n(z) dz - \alpha_s \cdot L \right) \quad \dots\dots(5)$$

と表される。即ち、半導体光増幅器の側面からの自然放出光 $P_n(z)$ を活性層長に亘って積分した値を一定値に制御すると、 C 、 α_s 、 $\cdot L$ は定数なので利得 G を一定値にすることができる。ここで、 α_s 及び C は活性層の位置、励起強度、信号光強度に依存しない定数であり、それぞれ

$$C = \Gamma_s \cdot A \cdot \tau / (v \cdot h \cdot \nu_s \cdot S)$$

$$\alpha_s = \Gamma_s \cdot A \cdot n_{0s} / v$$

但し、

α_s : 微弱信号光に対する活性層の吸収損失

h : プランク定数

Γ_s : 閉じこめ係数 (なお、 α は信号光の偏波モード (TE又はTM)を表す。)

A : 微分利得係数

τ : キャリア寿命

v : 媒体中の光速

ν_s : 自然放出光の平均周波数

S : 活性層の断面積

n_{0s} : 利得が生じるキャリア密度

と定義される。

【0042】また、図13の光増幅器によれば、希土類添加光ファイバ4の近傍に温度センサ22を設置し、その動作温度を検出し、温度特性補正回路23により光検出器5で検出された自然放出光 P_n の温度特性、希土類添加光ファイバ4の信号光波長における損失の温度特性を補正し、該補正後の検出値から利得計算回路24により利得を算出し、これを基準値 S_r と比較器20で比較し、該利得が一定となるように励起光源8を駆動回路7で制御する構成とした。自然放出光には温度依存性があるので、これを補正することが可能となり、さらに信号光波長におけるファイバ損失にも温度特性があるので、これを補正することが可能となる。この結果、自然放出光から光増幅器の利得を算出する際に温度特性による誤差を避けることができ、利得を一定に制御することができる。

【0043】次に、図14の光増幅器の作用を説明する。積分球6の中には光検出器5とともに光検出器25が設置され、また、希土類添加光ファイバ4の他端とアイソレータ3との間には合波器26が挿入されている。

12

*る。電流励起の半導体光増幅器において、半導体光増幅素子21の側面に光検出器(受光器)5を設置し、該半導体光増幅素子21の側面から放出された自然放出光 P_n を検出し、この検出値と基準値 S_r とを比較器20で比較し、該検出値が一定となるように駆動回路7で励起電流に帰還をかける構成としている。ここで、半導体光増幅器の利得 G は希土類添加光ファイバ増幅器の場合と同様に、

光検出器5による希土類添加光ファイバ4の側面からの自然放出光 P_n の検出値を比較器20にて基準値 S_{r1} と比較し、この結果に従って励起光源8の励起光 P_{e1} を駆動回路7で制御するとともに、光検出器25による検出値を比較器29にて基準値 S_{r2} と比較し、この結果に従って励起光源28の励起光 P_{e2} を駆動回路27で制御する構成としたので、利得制御回路(比較器)の中で最大の増幅率に設定された回路が動作することとなり、それ以外の利得制御回路では励起光源は全て最小動作状態(回路設計で決まる)に制御される。従って、これらの励起光源は動作上は熱予備の状態であるが、信頼度的には冷予備の状態にある。この際、動作状態にある利得制御回路において、励起光源の障害あるいは制御系の故障により所定の利得が確保できなくなり、その利得が2番目に大きな利得が設定された利得制御回路の値を下回ると、2番目の利得制御回路が動作を開始するようなり、利得はそれ以上低下することはない。

【0044】次に、図15の光増幅器の作用を説明する。ここでは図14の光増幅器の構成に加えて複数の利得制御回路の動作を監視する監視制御装置30を設けており、これによって各利得制御回路への基準利得の設定、その動作のオン・オフ制御を行う構成としている。本光増幅器において、第1の利得制御回路が障害となり、利得が増大すると、監視制御装置30で動作を監視しているので、異常動作となった第1の利得制御回路をオフにすることが可能である。その結果、光増幅器の利得が低下していき、次に大きな利得が設定された第2の利得制御回路の利得を下回る状態になると、該第2の利得制御回路が自動的に動作を開始するようになり、利得はそれ以上低下することはない。従って、信号レベルは若干低下するものの瞬断することなく増幅される。さらに、動作を開始した第2の利得制御回路の利得設定値を第1の利得制御回路の利得設定値と同じ値に監視制御装置30により再設定することで、元の状態に復帰させることができる。

【0045】また、図16の光増幅器によれば、比較器20から個々の励起光源を見た時の特性が全て同じになるように励起光源の特性の差を吸収する回路を組込んだ駆動回路31a及び励起光源31bを一体化した励起モ

ジュール31と、同様な駆動回路32a及び励起光源32bを一体化した励起モジュール32とを比較器20に並列に接続する構成としたので、励起モジュール毎の励起光の出力レベルに偏りが生じることがなく、励起光源の高信頼化と安定した利得制御を可能としている。また、本光増幅器において、励起モジュールの一部が故障しても、利得制御系により残りの励起モジュールを用いた利得一定制御が行われる。従って、励起モジュールの一部が故障しても信号が瞬間的にも途絶することはなく、光増幅器の信頼性を向上させることができる。

【0046】次に、図17の光増幅器の作用を説明する。当初、第1の励起モジュールにより利得一定制御が行われており、さらにその利得制御回路の出力部にはオフ状態の第2の励起モジュールが接続されている場合について考える。この状態で、第2の励起モジュールをオフからオンに設定する。この際、低域通過フィルタがないと、励起光源にステップ状の制御信号が突然加えられることとなるので、第2の励起モジュールの出力励起光には利得制御回路の制御帯域以上の周波数成分が含まれることとなり、また、スパイク状の過渡応答成分も含まれるので、一時的に利得一定制御を行うことができなくなる。次に、本光増幅器の構成の場合を考察する。制御信号は低域通過フィルタ34dを経由して励起光源を駆動するので、出力励起光に利得制御回路の制御帯域以上の周波数成分が含まれることはなく、さらに駆動電流の周波数帯域が制限されるのでスパイク状の過渡応答が生じることもない。従って、利得制御回路に既に接続されている励起モジュール33と新たに動作状態となった励起モジュール34により利得一定制御を行うことができる。次に、制御系が定常状態となる一定時間経過後に低域通過フィルタが励起モジュール34から切離されるような構成としているので、所要の帯域で両モジュールとも同等に制御をかけることが可能となる。また、定常状態になってから低域通過フィルタを切離すので、制御系に制御不能な擾乱を与えることはない。このように光増幅器の利得を全く変動させることなく新しい励起モジュールを動作状態の利得制御系に組込むことが可能となるので、冷予備構成の光増幅器が構成でき、信頼性を大きく向上させることができる。

【0047】また、図18の光増幅器によれば、2つの光増幅器36及び37を直列に接続し、監視制御装置38により、そのいずれかの光増幅器において基準とする増幅率が達成できなくなった場合、全体としての利得が一定となるように2台の光増幅器の利得配分を変更する構成としたので、例えば、後段の光増幅器37の励起光源を制御しても所要の利得を確保できない場合、前段の光増幅器36の励起光源を制御して利得を増加させ、全体としての利得を一定とさせることができる。本光増幅器では利用できる励起光源の数が限られている場合に光増幅器を故障状態から回復させることができ、信頼性を

大きく向上させることができる。

【0048】

【実施例1】図20、21は本発明の第1の実施例を示すものである。図中、40は希土類としてエルビウム(Er)を添加した光ファイバであり、コイル状(直径100mm)に巻かれている。該光ファイバ40にはUVコートが施され、ファイバ側面から自然放出光が取出せるようになっている。また、該光ファイバ40は長さ25mで、エルビウムの添加量は1000ppmである。また、41は光検出器(直径4mm)であり、光ファイバ40のコイル状の一部を挟んでミラー42と対向する位置に設置され、遮光板43のスリット43aを介して自然放出光を検出している。また、光ファイバ40はコイル状に巻かれているので、自然放出光は約310mmの間隔でサンプルされる。また、光ファイバ40は1.48μmの半導体レーザ(図示せず)で励起されている。

【0049】図22は本発明の基本となる前記式(3)の有効性を確認するための基本データであり、種々の入力電力に対して光増幅器の利得と積分された自然放出光との関係を表している。図中、白丸は入力電力が-23.8dBm、黒丸は-9.2dBmの場合をそれぞれ示している。同図より、自然放出光が利得の測定手段として優れていること、並びに自然放出光の積分手段として本発明の手法が有効に動作していることがわかる。

【0050】また、図23は利得一定制御動作(AGCオン)時における積分された自然放出光と光増幅器への入力電力との関係(図中、白丸で示す。)、並びに励起光電力と光増幅器への入力電力との関係(図中、黒丸で示す。)を表している。

【0051】また、図24は増幅器の利得と入力電力との関係を、AGCオン時(図中、白丸で示す。)及びAGCオフ時(図中、白三角で示す。)の場合のそれぞれについて表している。積分された自然放出光は入力信号電力が-10dBmまでは励起光源へ帰還をかけることにより一定に保たれている。この間、励起光電力は12mW(-50dBm入力)から38mW(-10dBm入力)へと増加している。励起光電力が最大38mWで制限されているので、積分された自然放出光は信号光が-10dBmを越えると減少していく。

【0052】信号利得20dBの光増幅器の利得を1dB低下させる入力信号電力はAGCオフの場合、-22dBmであり、AGCオンの場合、-9dBm(出力レベルでは+10dBm)となる。このように、AGCオンにより光増幅器の線形動作範囲を13dB程増大させることができた。

【0053】

【実施例2】図25は本発明の第2の実施例を示すものである。図中、40は希土類添加光ファイバ、41a、41b、41cは光検出器、44、45は合波器、46、47はアイソレータ、48、49は駆動回路、50

15

0、51は励起光源、52は制御装置である。希土類添加光ファイバ40の異なる位置の側面に光検出器41a、41b、41cがそれぞれ設置され、自然放出光を検出している。制御装置52はこれらの検出値により、前記式(3)及び(4)に基いて利得及び雑音指数NFを計算し、利得一定のもとで雑音指数NFの変動ができるだけ小さくなるように希土類添加光ファイバ40の信号入力側及び出力側に励起光を供給する励起光源50及び51を駆動回路48、49を介して制御する。また、励起光源50又は51のいずれかが障害となった場合においても、残りの励起光源により利得一定制御が行われるので信号が瞬間的にも途絶することなく、光増幅器の高信頼化が達成される。

【0054】

【実施例3】図26、27は本発明の第3の実施例を示すものである。図中、53は活性層53a及び電極53b、53cを備えた半導体光増幅素子であり、自然放出光を受光するための光伝導素子(フォトコンダクタ)54を活性層53aに平行してモノリシックに集積したものである。なお、光伝導素子54は構造が簡単であるので集積化が容易にできる。光伝導素子54は半導体光増幅素子53の自然放出光 P_n を検出し、この検出値と基準値 S_r とを比較器55で比較し、該検出値が一定となるように駆動回路56で制御する。本光増幅器においては、光伝導素子54の出力が活性層53aからの自然放出光の積分値に比例しているので、利得制御系が簡単に構成できる。

【0055】

【実施例4】図28は本発明の第4の実施例を示すものである。図中、60、70は2段構成の光増幅器であり、該2台の光増幅器の利得配分を変更できるような監視制御装置80が設けられている。各々の光増幅器60、70は光励起による希土類添加光ファイバ増幅器により構成されている。即ち、光増幅器60は合波器61a、61b、アイソレータ62a、62b、希土類添加光ファイバ63、光検出器64、積分球65、比較器66、駆動回路67a及び励起光源67bを一体化した励起モジュール67並びに駆動回路68a及び励起光源68bを一体化した励起モジュール68からなっている。また、光増幅器70は合波器71a、71b、アイソレータ72a、72b、希土類添加光ファイバ73、光検出器74、積分球75、比較器76、駆動回路77a及び励起光源77bを一体化した励起モジュール77並びに駆動回路78a及び励起光源78bを一体化した励起モジュール78からなっている。このような構成からなるので、一部の励起光源が故障しても残りの励起光源でAGCが行われ、利得変動を生じることなく光増幅器の動作を継続する。また、残りの励起光源の励起光電力が充分ではないと利得低下を生じるが、この場合は監視制御装置80で前段及び後段の励起光源の状態をモニタ

16

し、励起光電力に余力のある増幅器の利得を増加させ、励起光電力が不足している増幅器の利得を低く設定する。この結果、全体としての利得が一定であるような制御が可能となる。このように本実施例の構成によれば、増幅器利得は多重に保護されており、光信号は瞬間的にも途絶することなく、光増幅器の高信頼化に非常に大きな効果がある。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように本発明の請求項1によれば、希土類添加光ファイバと少なくとも1個の光検出器を積分球の中に設置し、該希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光の積分値を検出し、該検出値が一定になるように少なくとも1個の励起光源を制御するようになしたので、信号光を検出することなく利得を一定に制御することができ、信号のパターン効果等による利得変動を完全に抑制することができる。

【0057】また、本発明の請求項2によれば、コイル状に巻いた希土類添加光ファイバの側面に少なくとも1個の光検出器を設置し、該希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を検出し、該検出値が一定となるように少なくとも1個の励起光源を制御するようになしたので、積分球が不要になるとともに、信号光を検出することなく利得を一定に制御することができる。

【0058】また、本発明の請求項3によれば、複数の光検出器を希土類添加光ファイバの異なる位置の側面にそれぞれ設置してその自然放出光を検出し、該複数の検出値に所定の演算を加え、その結果が一定になるように少なくとも1個の励起光源を制御するようになしたので、信号光を検出することなく利得を一定に制御することができ、信号のパターン効果等による利得変動を完全に抑制することができるとともに、信号光を検出することなく雑音指数を求めることができる。

【0059】また、本発明の請求項4によれば、希土類添加光ファイバと光検出器との間に信号帯域の近傍のみを通過させる光帯域通過フィルタを設置したので、使用波長以外の光を取除くことができ、利得を精度良く制御できる。

【0060】また、本発明の請求項5によれば、希土類添加光ファイバを挟んで光検出器と対向する位置にミラーを設置したので、光検出器に入射する自然放出光を増加させることができ、制御系のSN比を向上させることができる。

【0061】また、本発明の請求項6によれば、光検出器を中心とする所定の円周上に希土類添加光ファイバを配置したので、各ファイバからの自然放出光を均等に検出でき、自然放出光の積分値の検出精度を向上させることができる。

【0062】また、本発明の請求項7によれば、光検出器の前面に検出感度の入射角度依存性を補正する空間フィルタを設置したので、各ファイバからの自然放出光を

17

均等に検出でき、自然放出光の積分値の検出精度を向上させることができる。

【0063】また、本発明の請求項8によれば、光増幅器を2台直列に接続し、前段の光増幅器を高利得に設定し、後段の光増幅器を損失を含めて低利得に設定したので、前段の光増幅器の利得を小さくした場合のように増幅器全体の雑音指数NFを劣化させることなく、後段の増幅器の利得を制御することにより、増幅器全体の利得を大きく変化させることが可能となる。

【0064】また、本発明の請求項9によれば、光増幅器の出力信号電力を検出し、これを信号の統計的性質に基く時定数 τ 、(積分値の時間変動がなくなる時間)よりも長い時間で積分し、この積分値に基いて光増幅器の基準増幅率を制御し、平均出力信号電力が一定となるようにしたので、利得を一定に制御しつつ出力信号電力を一定にすることが可能であり、安定な光中継伝送方式を構成できる。

【0065】また、本発明の請求項10によれば、励起光源の制御系から励起光電力の動作情報を抽出し、これと光増幅器の基準利得との関係から出力信号電力を算出し、これを信号の統計的性質に基く時定数 τ 、(積分値の時間変動がなくなる時間)よりも長い時間で積分して平均出力信号電力を算出し、該平均出力信号電力と基準とする出力信号電力とを比較し、光増幅器の基準増幅率を制御して平均出力信号電力が一定となるようにしたので、利得を一定に制御しつつ出力信号電力を一定にすることが可能であるとともに、光ファイバの出力端に分配器(分岐器)を設けて出力信号の一部を取出して出力信号電力を検出する必要がなく、構成が簡単になるとともに分岐による損失がなく、より高出力化が可能となる。

【0066】また、本発明の請求項11によれば、増幅率と該増幅率が規定される波長情報とをスイッチ又は電圧等により外部から入力し、制御可能領域を越えた場合は警報を発生するようになったので、光増幅器が正常に動作しているか否かを把握することができる。

【0067】また、本発明の請求項12によれば、半導体光増幅素子の側面に少なくとも1個の光検出器を設置し、該半導体光増幅素子の側面から放出された自然放出光を検出し、該検出値が一定となるように励起電流を制御するようになったので、信号光を検出することなく利得を一定に制御することができる。

【0068】また、本発明の請求項13によれば、希土類添加光ファイバ又は半導体光増幅素子の近傍に温度センサを設置し、その動作温度を検出して自然放出光の温度特性及び希土類添加光ファイバの損失の信号光波長における温度特性又は半導体光増幅素子の活性層の信号光波長における温度特性を補正し、利得温度特性を低減するようになったので、自然放出光の温度依存性及び信号光波長におけるファイバ損失の温度特性を補正することが可能となり、この結果、自然放出光から光増幅器の利

18

得を算出する際に温度特性による誤差を避けることができ、利得を一定に制御することができる。

【0069】また、本発明の請求項14によれば、希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を複数の光検出器により検出し、これらの検出値に基いて少なくとも1個の励起光源の制御を行う複数の利得制御回路を設け、各利得制御回路の基準利得を少しずつ異なる値に設定したので、励起光源を熱予備並びに冷予備として設けることができる。

【0070】また、本発明の請求項15によれば、希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を複数の光検出器により検出し、これらの検出値に基いて少なくとも1個の励起光源の制御を行う複数の利得制御回路と、これらの複数の利得制御回路の動作を監視する監視制御装置とを設け、各利得制御回路の基準利得の設定及び動作のオン・オフ設定を可能としたので、励起光源を熱予備並びに冷予備として設けることができるとともに、そのいずれの場合においても信号を途絶させることなく自動的に切替えることができる。

【0071】また、本発明の請求項16によれば、希土類添加光ファイバの側面から放出された自然放出光を少なくとも1個の光検出器で検出し、これに基いて複数の励起光源を制御する光増幅器において、利得制御回路から個々の励起光源を見た時、その特性が全て同じになるように励起光源の特性の差を吸収する回路を組み込んだ駆動回路と、励起光源とを一体化した励起モジュールを利得制御回路の出力に複数、並列に接続したので、励起モジュール毎の励起光の出力レベルに偏りが生じることがなく、励起光源の高信頼化と安定した利得制御が可能となり、また、励起モジュールの一部が故障しても、利得制御系により残りの励起モジュールを用いた利得一定制御を行うことができ、信号が瞬間的にも途絶することはない、光増幅器の信頼性を向上させることができる。

【0072】また、本発明の請求項17によれば、各励起モジュールの動作のオン・オフを制御する制御装置が設けられ、各励起モジュールには利得制御回路の制御帯域よりも狭い低域通過フィルタが設けられ、該励起モジュールをオフからオンに設定した場合、初期の状態は制御ループ内に低域通過フィルタが挿入され、一定時間経過後には低域通過フィルタが回路から切り離される構成となしたので、スパイク状の過渡応答成分が入力されるようなことがなく、所要の帯域で両モジュールとも同等に制御をかけることが可能となり、また、制御系に制御不能な擾乱を与えることがなく、新しい励起モジュールを動作状態の利得制御系に組込むことが可能となり、これによって、冷予備構成の光増幅器が構成でき、信頼性を大きく向上させることができる。

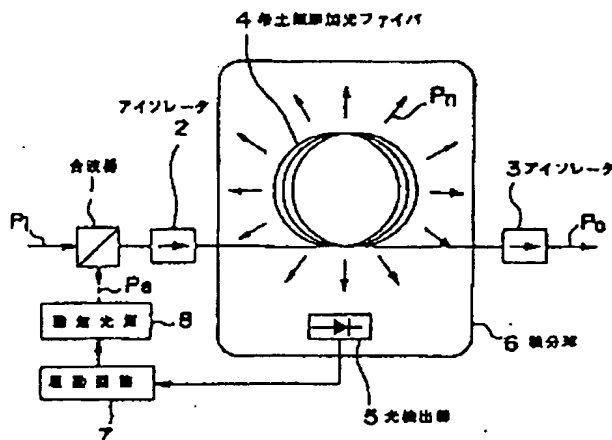
【0073】また、本発明の請求項18及び19によれば、光増幅器を2台直列に接続し、そのいずれかの光増幅器において基準とする増幅率が達成できなくなった場

合、全体としての利得が一定となるように2台の光増幅器の利得配分を変更する監視制御装置を設けたので、例えば、後段の光増幅器の励起光源を制御しても所要の利得を確保できない場合、前段の光増幅器の励起光源を制御して利得を増加させ、全体としての利得を一定とさせることができる。本光増幅器では利用できる励起光源の数が限られている場合に光増幅器を故障状態から回復させることができ、信頼性を大きく向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 請求項1対応の光増幅器の構成図
 【図2】 請求項2対応の光増幅器の構成図
 【図3】 請求項3対応の光増幅器の構成図
 【図4】 請求項4対応の光増幅器の構成図
 【図5】 請求項5対応の光増幅器の構成図
 【図6】 請求項6対応の光増幅器の構成図
 【図7】 請求項7対応の光増幅器の構成図
 【図8】 請求項8対応の光増幅器の構成図
 【図9】 請求項9対応の光増幅器の構成図
 【図10】 請求項10対応の光増幅器の構成図
 【図11】 請求項11対応の光増幅器の構成図
 【図12】 請求項12対応の光増幅器の構成図
 【図13】 請求項13対応の光増幅器の構成図
 【図14】 請求項14対応の光増幅器の構成図
 【図15】 請求項15対応の光増幅器の構成図
 【図16】 請求項16対応の光増幅器の構成図
 【図17】 請求項17対応の光増幅器の構成図
 【図18】 請求項18及び19対応の光増幅器の構成図

【図1】



図

【図19】 出力信号レベルと励起光電力との関係を示すグラフ

【図20】 本発明の第1の実施例を示す構成図

【図21】 図20の要部拡大側面図

【図22】 利得と自然放出光の積分値との関係を示すグラフ

【図23】 自然放出光の積分値と入力信号レベルとの関係及び励起光電力と入力信号レベルとの関係を示すグラフ

【図24】 利得と入力信号レベルとの関係を示すグラフ

【図25】 本発明の第2の実施例を示す構成図

【図26】 本発明の第3の実施例を示す構成図

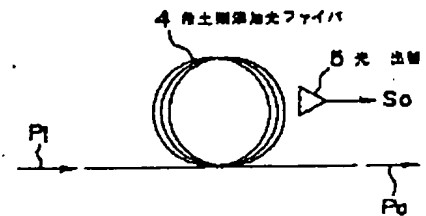
【図27】 図26の要部の平面図

【図28】 本発明の第4の実施例を示す構成図

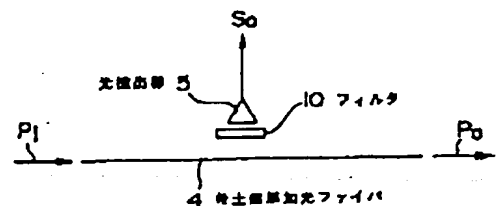
【符号の説明】

4, 40, 63, 73…希土類添加光ファイバ、5, 18, 25, 41, 64, 74…光検出器、6, 65, 75…積分球、7, 27, 48, 49, 56…駆動回路、8, 28, 50, 51…励起光源、9…演算回路、10…フィルタ、11, 42…ミラー、14, 15, 36, 37, 60, 70…光増幅器、16, 35, 52…制御装置、19…積分器、20, 29, 55, 66, 76…比較器、21, 53…半導体光増幅素子、22…温度センサ、31, 32, 33, 34, 67, 68, 77, 78…励起モジュール、30, 38, 80…監視制御装置。

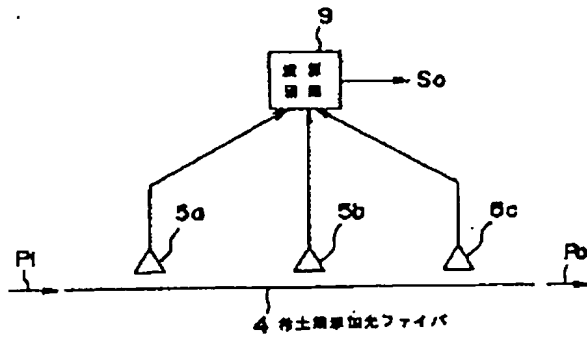
【図2】



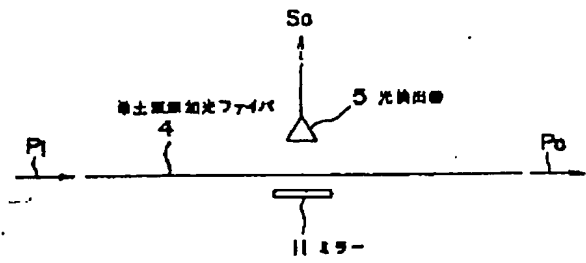
【図4】



【図3】

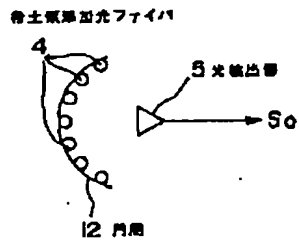


【図5】

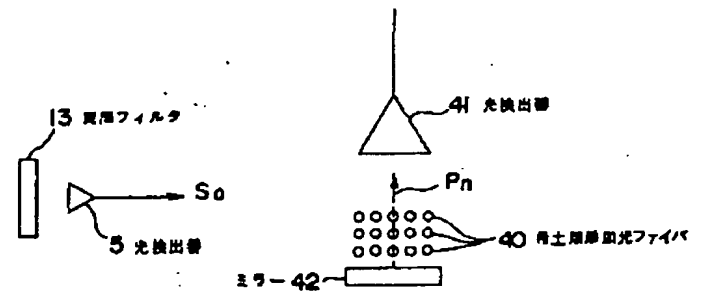
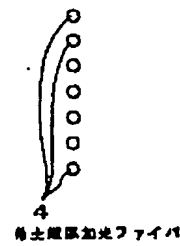


【図21】

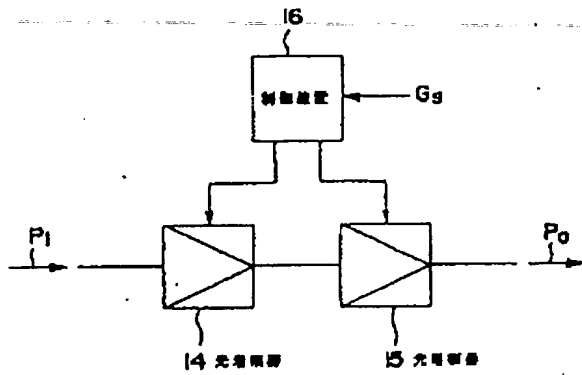
【図6】



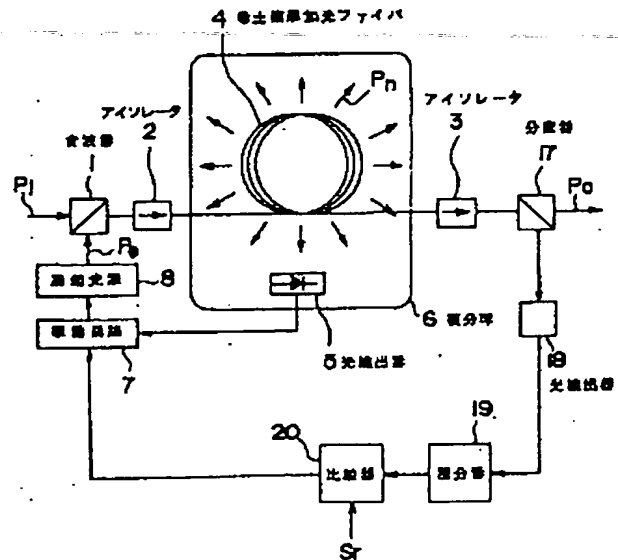
【図7】



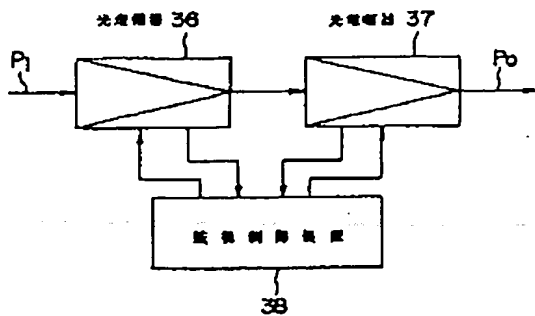
【図8】



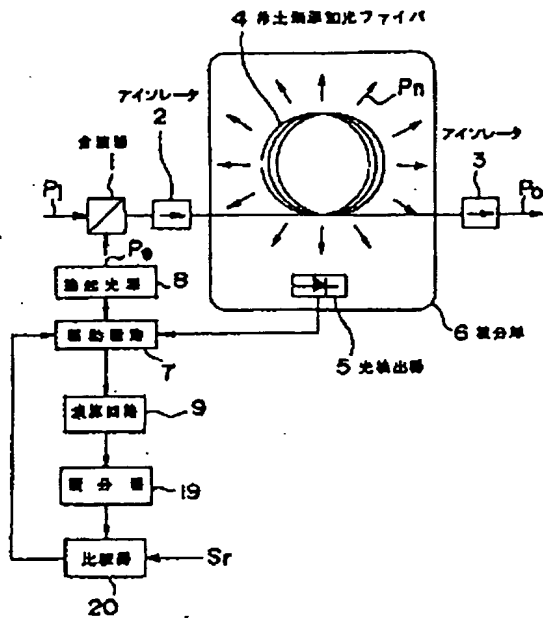
【図9】



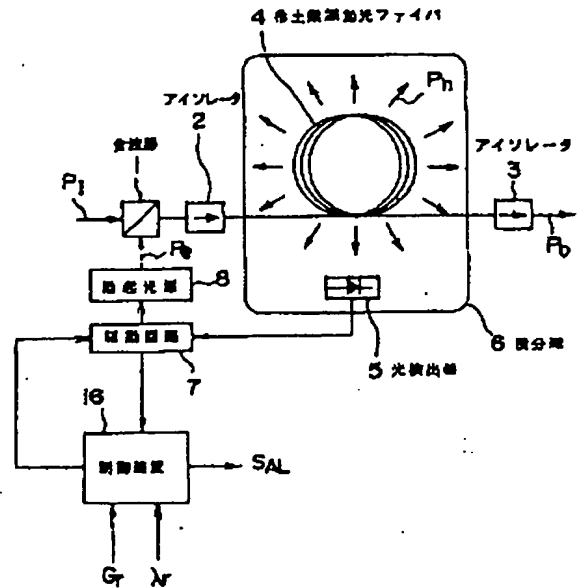
【図18】



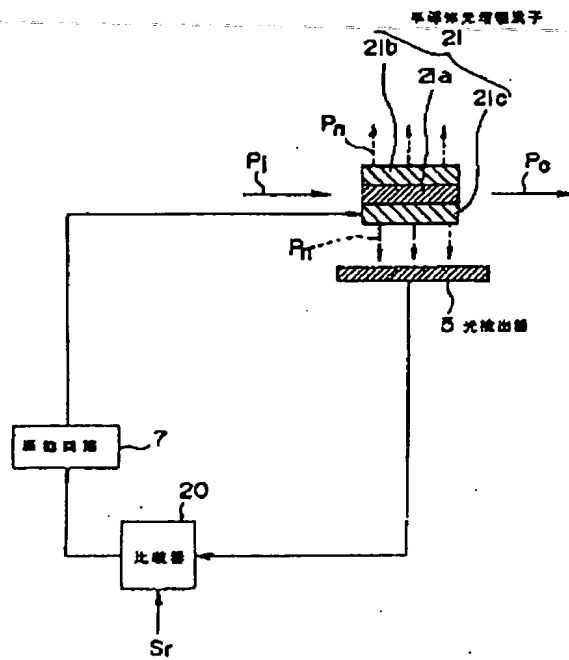
【図10】



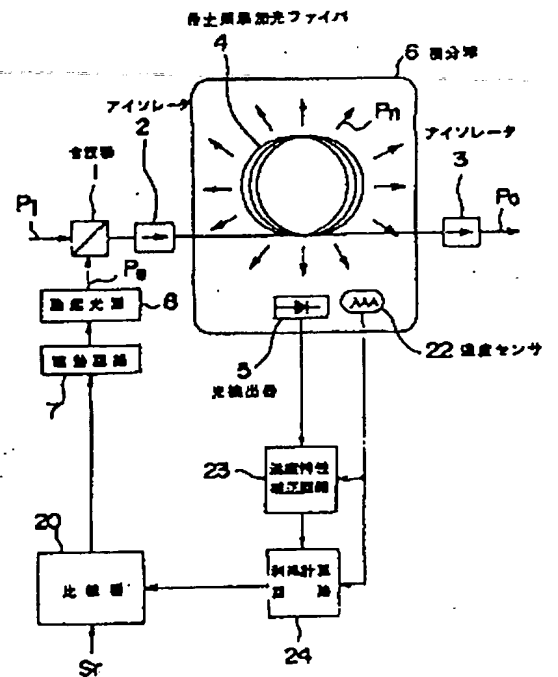
【図11】



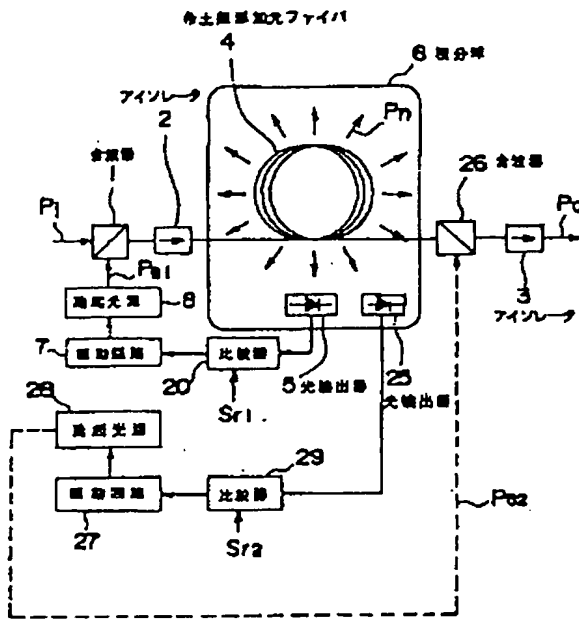
【図12】



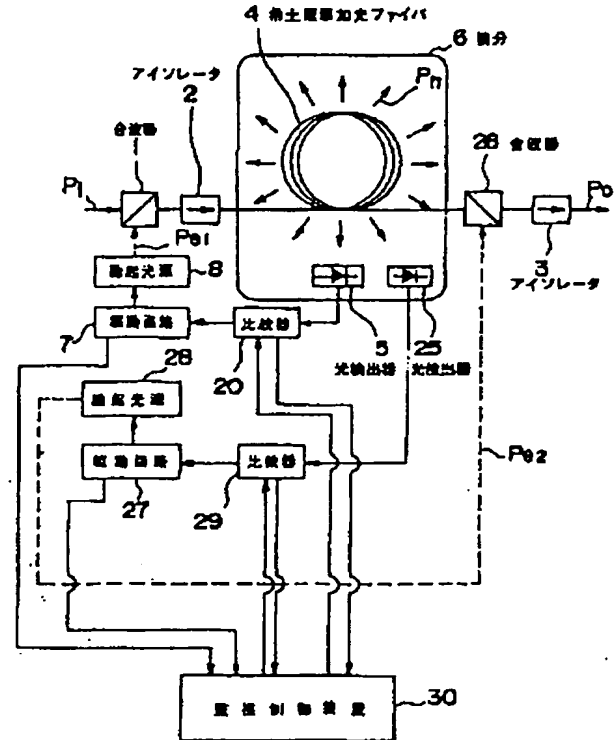
【図13】



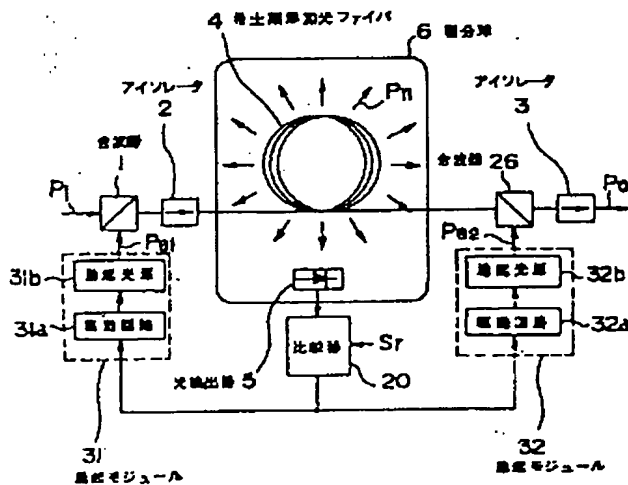
【図14】



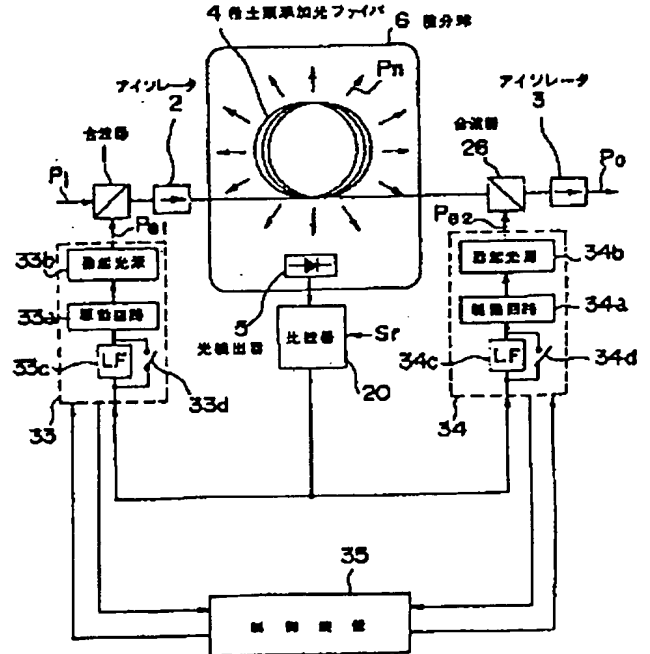
【図15】



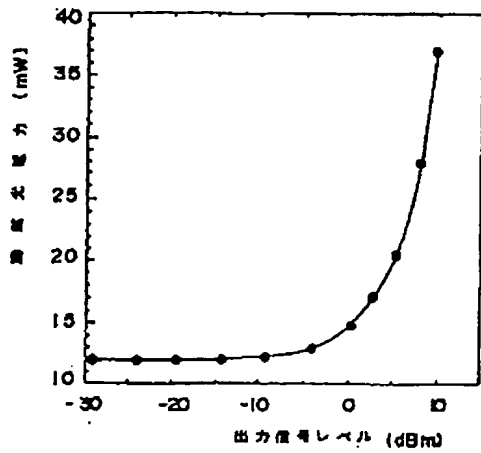
【図16】



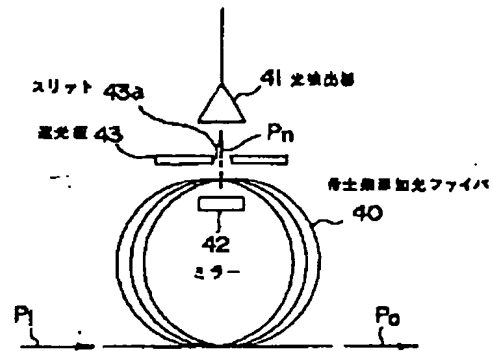
【図17】



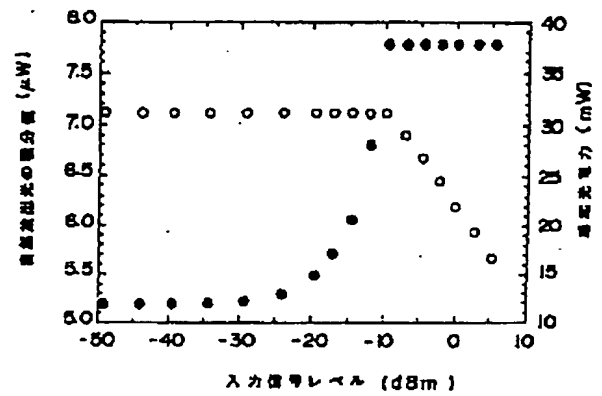
【図19】



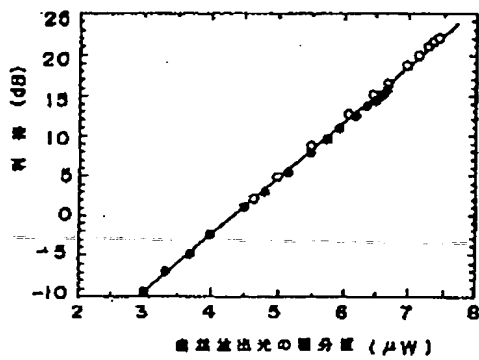
【図20】



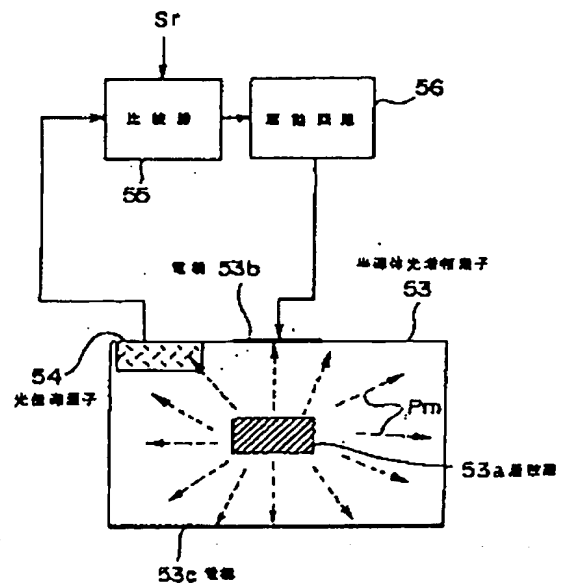
【図23】



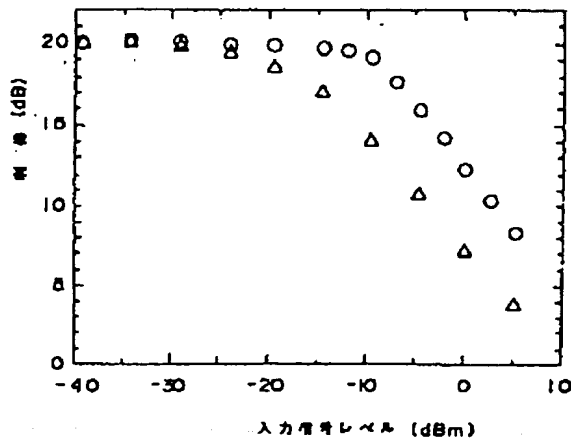
【図22】



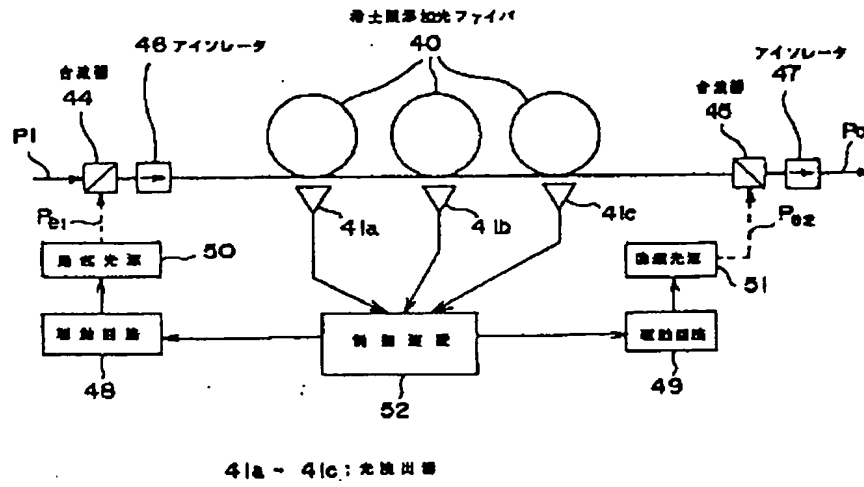
【図26】



【図24】

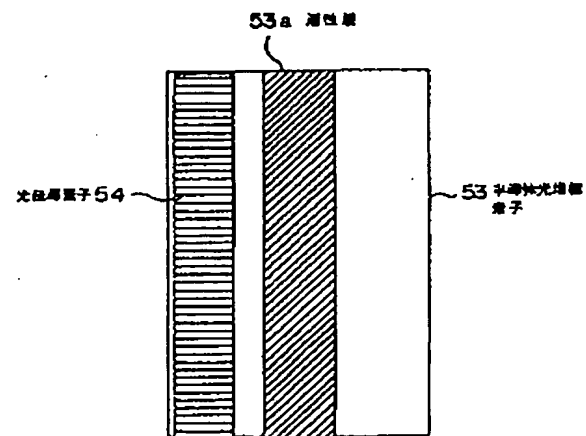


【図25】

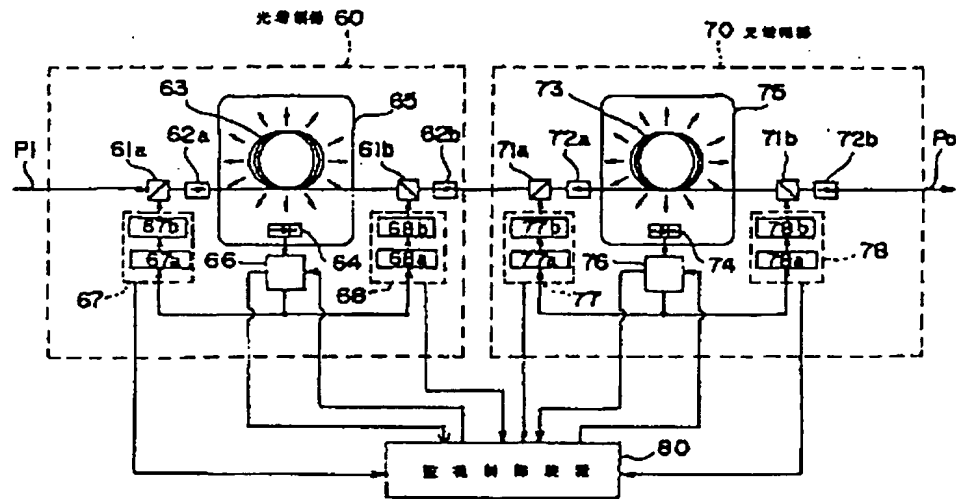


41a ~ 41c: 光検出部

【図27】



【図28】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 5

H01S 3/07
3/0915

識別記号

庁内整理番号
7630-4M

F I

技術表示箇所